

**PENGARUH VARIASI TEKANAN PENYEMPROTAN
SHOT PEENING TERHADAP KARAKTERISTIK
PERMUKAAN *DYNAMIC COMPRESSION PLATE*
BERBAHAN *STAINLESS STEEL 316L***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan untuk Mencapai Derajat
Strata-1 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



Disusun Oleh :

YOGA RENDRA SAPUTRA

2012 013 0064

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2016

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI TEKANAN *SHOT PEENING*
TERHADAP KARAKTERISTIK PERMUKAAN
DYNAMIC COMPRESSION PLATE BERBAHAN
*STAINLESS STEEL 316L***

Disusun Oleh :
YOGA RENDRA SAPUTRA
2012 013 0064

Telah Dipertahankan di Depan Tim Penguji
Pada Tanggal _____

Susunan Tim Penguji :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Gunawan S. Prihandana, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIK. 19810407 201310 1 23065

Sunardi, S.T., M.Eng.
NIK. 19770210 201410 1 23068

Penguji

Aris Widyo Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19700301 199509 1 23022

Tugas Akhir Ini Telah Dinyatakan Sah Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Tanggal _____

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Novi Caroko, S.T., M.Eng.
NIP. 19791113 200501 1 001

PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi/tugas akhir berjudul “**Pengaruh Variasi Tekanan Penyemprotan *Shot Peening* Terhadap Karakteristik Permukaan *Dynamic Compression Plate* Berbahan *Stainless Steel 316L***” ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, _____

Yoga Rendra Saputra

HALAMAN PERSEMBAHAN

☪☪ Almighty God, Allah SWT ☪☪

The Only One who give me all of my talent, age, intensity, pride, freedom, love, and blessing.. *Alhamdulillah wa Syukurillah..*

☪☪ Supriyono dan Resti Suciati ☪☪

sebuah tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan dengan karya sederhana ini, jasa yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan. tiada kata yang bisa menggantikan segala rasa, usaha, dan biaya yang telah dicurahkan untuk penyelesaian kuliahku ini. *terima kasih ma... pa..*

☪☪ Fahayu Priristia ☪☪

jadikan ini motivasi dan semangat. *Jadilah lebih baik dariku..*

☪☪ Orang-Orang Hebat di Teknik Mesin UMY ☪☪

Pak Novi, Bu Tutik, Pak Gun, Pak Nardi, Pak Tito, Pak Budi, Pak Darisman, Pak Nadjib, Pak Aris, Pak Darja, Pak Kamta, Pak Bambang, Pak Wahyudi, Pak Teddy, Pak Totok, Pak Joko, Pak Mujiyana, Pak Mujiarto, Mbak Widi-Woro-Rifia.. terima kasih banyak pak...bu..mbak.. sudah dibantu selama ini, sudah dinasehati, sudah diajari, *saya tidak akan lupa atas segala bantuan dan kesabarannya.*

☪☪ Sahabat-Sahabatku ☪☪

segelas kopi untuk kalian yang selalu menghangatkan hidupku, memberikan warna dan cerita di empat tahunku ini.. tanpa kalian semua, ini akan jauh lebih berat untuk diselesaikan. *akan selalu terkenang selamanya. terima kasih..*

HMM ku, salam Solidarity M Forever..

Selenk Kelas B 2012, tetep kompak..

Crew Mechanical Event, ayo survive..

Cah-Cah Ngok, mari lanjutkan cerita ini sampai tua..

Temen-temennya sheila dan para sephia di sana,

tetaplah jadi partner in crime dan moodbooster bagiku..

☪☪ One of The Best Part in My Life ☪☪

Sad, happy, cry, laugh, win, lose, angry, love, hate, cheat, late, naughty, sleepy, bored, dissapointed, friendship.. Anything, I absolutely gonna miss this episode

-In this life, we can't do a great thing.. We can only do small things with great love-

-All we have to do is dream.. Keep our dreams alive and we will survive-

INTISARI

Dynamic compression plate (DCP) merupakan plat yang digunakan untuk menyambung patah tulang. DCP umumnya terbuat dari logam *titanium alloy* dan *stainless steel 316L* (SS-316L). Pada penelitian ini, SS-316L dipilih sebagai material DCP karena lebih mudah dibentuk dan harganya lebih murah daripada *titanium alloy*. Akan tetapi, SS-316L memiliki kelemahan pada sifat mekaniknya sehingga dibutuhkan modifikasi untuk memperbaiki sifat mekanik tersebut. Metode *shot peening* dapat dijadikan sebagai alternatif perlakuan permukaan pada DCP SS-316L. *Shot peening* adalah metode perlakuan permukaan yang digunakan meningkatkan kekerasan dan memperhalus ukuran butiran pada permukaan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan *shot peening* terhadap struktur mikro permukaan, kekasaran permukaan, kekerasan mikro, dan ketebalan dari DCP SS-316L.

DCP didesain sebagai plat penyambung tulang lengan, berdimensi 105 mm × 12 mm × 4 mm dengan 6 lubang sejajar berbentuk lingkaran berdiameter 5 mm. Perlakuan *shot peening* dilakukan selama 10 menit dengan menggunakan *steel ball* berdiameter 0,4 mm dan jarak *nozzle* terhadap spesimen adalah 100 mm. Variabel yang digunakan adalah tekanan penyemprotan, yaitu 4 kg/cm², 5 kg/cm², dan 6 kg/cm².

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan *shot peening* dapat meningkatkan kualitas DCP SS-316L. Struktur mikro pada permukaan mengalami pepadatan dan butirannya menjadi lebih kecil, sehingga kekerasannya meningkat dan plat menjadi lebih tipis. Perlakuan *shot peening* selama 10 menit pada tekanan 6 kg/cm² dapat meningkatkan kekerasan DCP SS-316L hingga 195,6 HV atau meningkat 93% dari kekerasan awalnya (101,32 HV). Kekasaran permukaan yang semula 0,5 µm meningkat hingga 0,975 µm. Ketebalan plat berkurang hingga 5%, sehingga DCP SS-316L menjadi lebih tipis.

Kata kunci : *dynamic compression plate, stainless steel 316L, shot peening, struktur mikro, kekasaran permukaan, kekerasan mikro, ketebalan.*

ABSTRACT

Dynamic compression plate (DCP) is a plate made of biomaterials like titanium alloy or stainless steel 316L (SS-316L), which is used for joining fractured/broken bones for fast recovery. Due to its easy to be machined and cheaper than titanium alloy, SS-316L is used in this research. However, SS-316L has limitations on mechanical properties. Therefore, the surface of SS-316L needs to be treated prior use to increase mechanical properties on it. Shot peening is one of the methods to increase the surface hardness and roughness of material. This research aims to investigate the effect of shot peening on its microstructure, surface roughness, microhardness, and thickness of SS-316L DCP.

In this research, the DCP is designed for joining arm. The DCP is 105 mm $\hat{\text{I}}$ 12 mm $\hat{\text{I}}$ 4 mm and has 6 holes, 5 mm diameter each, with holes aligned to the plate. After machining, the surface is modified by shot peening using following properties: steel ball with 0.4 mm in diameter, 100 mm nozzle-to-plate distance, and shot for 10 minutes. The parameter is pressure variation, ranging from 4 – 6 kg/cm².

The results show that the shot peening of SS-316L increases its mechanical properties with significant change on its microstructure. Surface microstructure becomes denser and smaller. At pressure 6 kg/cm², surface hardness increases up to 195,6 VHN or 93% from initial condition (101,32 VHN). The surface roughness increases from 0,5 \sim m to 0,975 \sim m. The thickness decrease up to 5%, so DCP SS-316L become thinner.

Keywords : *dynamic compression plate, stainless steel 316L, shot peening, microstructure, surface roughness, microhardness, thickness.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah alahirabbil' alamin, puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan anugerah-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih dan apresiasi tinggi kepada semua pihak yang telah berjasa dalam Tugas Akhir ini, diantaranya :

1. Novi Caroko, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Gunawan Setia Prihandana, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Sunardi, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir ini.
3. Aris Widy Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir ini.
4. Tito Hadji Agung Santoso, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah berjasa besar dalam perkuliahan.
6. Seluruh Staff dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin atas semua bantuannya.
7. Bapak, Ibu dan Adik tercinta yang jasanya tidak terhingga.
8. Seluruh rekan seperjuangan Teknik Mesin terutama Panji Prihandoko atas kerjasama dan dukungannya.

Penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Selanjutnya, penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi pembacanya. *Amiin*.

Yogyakarta, 1 Januari 2016
Penyusun

Yoga Rendra Saputra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
INTISARI	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
2.1. Tinjauan Pustaka	6
2.1.1. Struktur mikro (<i>microstructure</i>)	8
2.1.2. Kekasaran permukaan (<i>surface roughness</i>)	11
2.1.3. Kekerasan permukaan (<i>micro hardness</i>)	11
2.1.4. Ketebalan plat (<i>thickness</i>)	12
2.2. Dasar Teori	14
2.2.1. Fraktur	14

2.2.2. <i>Stainless steel 316L</i> (SS-316L).....	16
2.2.3. <i>Dynamic Compression Plate</i> (DCP).....	19
2.2.4. Perlakuan <i>shot peening</i>	23
2.2.5. Pengamatan struktur mikro.....	25
2.2.6. Pengujian kekasaran permukaan.....	27
2.2.7. Pengujian kekerasan permukaan.....	29
2.2.8. Pengukuran ketebalan plat.....	34
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1. Alat dan Bahan Penelitian	37
3.1.1. Pembuatan plat sampel dan DCP SS-316L	37
3.1.2. Pembuatan <i>jig</i> dan <i>dies</i> pada penekuk plat	37
3.1.3. Proses penekukan (<i>bending</i>) plat	38
3.1.4. Pembuatan mesin <i>shot peening</i>	39
3.1.5. Proses perlakuan <i>shot peening</i>	39
3.1.6. Proses pengujian	41
3.2. Variabel Penelitian	44
3.3. Tahapan Penelitian	44
3.3.1. Proses pembuatan plat sampel	44
3.3.2. Proses pembuatan DCP.....	44
3.3.3. Proses pembuatan mesin <i>shot peening</i>	45
3.3.4. Proses <i>shot peening</i>	46
3.3.5. Proses pengujian	47
3.3.6. Proses pengolahan data.....	49
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1. Data Hasil Proses Perlakuan <i>Shot Peening</i>	52
4.1.1. Hasil pengamatan struktur mikro permukaan.....	53
4.1.2. Hasil pengujian kekasaran permukaan	56
4.1.3. Hasil pengujian kekerasan permukaan	58
4.1.4. Hasil pengukuran ketebalan plat.....	59

4.2. Pembahasan Hasil Proses Perlakuan <i>Shot Peening</i>	60
4.2.1. Pembahasan hasil pengamatan struktur mikro.....	61
4.2.2. Pembahasan hasil uji kekasaran permukaan.....	67
4.2.3. Pembahasan hasil uji kekerasan permukaan.....	72
4.2.4. Pembahasan hasil pengukuran ketebalan plat.....	75
BAB V PENUTUP	78
5.1. Kesimpulan.....	78
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	84

DAFTAR GAMBAR

BAB I PENDAHULUAN	1
Gambar 1.1. Contoh kecelakaan yang menyebabkan patah tulang lengan	1
Gambar 1.2. <i>Dynamic compression plate</i>	3
BAB II KAJIAN TEORI	6
Gambar 2.1. Efek penumbukan bola baja pada SMAT	8
Gambar 2.2. Struktur mikro spesimen sebelum SMAT	9
Gambar 2.3. Struktur mikro spesimen hasil SMAT dengan durasi 5 menit.....	9
Gambar 2.4. Struktur mikro spesimen hasil SMAT dengan durasi 10 menit....	10
Gambar 2.5. Struktur mikro spesimen hasil SMAT dengan durasi 15 menit....	10
Gambar 2.6. Nilai kekasaran permukaan (R_a) terhadap durasi	11
Gambar 2.7. Distribusi nilai kekerasan mikro pada perlakuan <i>shot peening</i>	12
Gambar 2.8. Nilai rata-rata pengurangan diameter setelah <i>sandblasting</i>	13
Gambar 2.9. Nilai rata-rata kehilangan massa spesimen setelah SMAT	13
Gambar 2.10. Bentuk patahan tulang	16
Gambar 2.11. Material implan	17
Gambar 2.12. Struktur kristal <i>austenitic stainless steel FCC</i>	19
Gambar 2.13. <i>Dynamic compression plate</i>	21
Gambar 2.14. Posisi pemasangan plat DCP pada lengan.....	21
Gambar 2.15. Skema representasi dari plat kompresi dinamis	22
Gambar 2.16. Mekanisme pembentukan tegangan tekan sisa	24
Gambar 2.17. Skema perlakuan <i>shot peening</i>	25
Gambar 2.18. Profil permukaan yang dilukiskan berlembah	27
Gambar 2.19. Alat uji kekasaran permukaan dan skema pembacaan <i>stylus</i>	28
Gambar 2.20. Grafik kekasaran permukaan dengan parameter R_a	29
Gambar 2.21. Alat uji kekerasan universal dengan metode indentasi.....	30
Gambar 2.22. Skematik prinsip indentasi dengan metode <i>Vickers</i>	32
Gambar 2.23. Tipe-tipe lekukan piramid intan	33
Gambar 2.24. Tipe mikrometer berdasarkan fungsinya	35
Gambar 2.25. Bagian utama mikrometer luar	36

BAB III METODE PENELITIAN	37
Gambar 3.1. Alat penekuk (<i>bending</i>) plat	38
Gambar 3.2. Mesin penekan	38
Gambar 3.3. <i>Shot peening box</i>	40
Gambar 3.4. Dimensi <i>steel ball</i> yang digunakan pada <i>shot peening</i>	40
Gambar 3.5. Alat uji struktur mikro	41
Gambar 3.6. Alat penguji kekasaran permukaan (<i>roughness tester</i>).....	41
Gambar 3.7. Alat penguji kekerasan (<i>Vickers hardness tester</i>)	42
Gambar 3.8. Alat pengukur ketebalan (<i>digital micrometer</i>)	42
Gambar 3.9. Plat sampel.....	43
Gambar 3.10. Desain <i>dynamic compression plate</i>	45
Gambar 3.11. Mekanisme kerja mesin <i>shot peening</i>	46
Gambar 3.12. Diagram alur penelitian	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
Gambar 4.1. Plat sampel SS-316L sebelum perlakuan <i>shot peening</i>	52
Gambar 4.2. Plat sampel SS-316L setelah perlakuan <i>shot peening</i>	52
Gambar 4.3. DCP SS-316L sebelum perlakuan <i>shot peening</i>	53
Gambar 4.4. DCP SS-316L setelah perlakuan <i>shot peening</i>	53
Gambar 4.5. Struktur mikro pada kondisi awal sebelum pengampelasan.....	54
Gambar 4.6. Struktur mikro pada <i>raw material</i> (setelah diampelas)	54
Gambar 4.7. Struktur mikro setelah <i>shot peening</i> dengan tekanan 4 kg/cm ²	55
Gambar 4.8. Struktur mikro setelah <i>shot peening</i> dengan tekanan 5 kg/cm ²	55
Gambar 4.9. Struktur mikro setelah <i>shot peening</i> dengan tekanan 6 kg/cm ²	56
Gambar 4.10. Grafik nilai rata-rata hasil uji kekasaran permukaan.....	57
Gambar 4.11. Grafik nilai rata-rata hasil uji kekerasan mikro	58
Gambar 4.12. Grafik nilai rata-rata hasil pengukuran ketebalan plat.....	60
Gambar 4.13. Skema pemantulan sinar pada mikroskop optik	61
Gambar 4.14. Struktur mikro setelah <i>shot peening</i> dengan tekanan 4 kg/cm ² ..	62
Gambar 4.15. Struktur mikro setelah <i>shot peening</i> dengan tekanan 5 kg/cm ² ..	63
Gambar 4.16. Struktur mikro setelah <i>shot peening</i> dengan tekanan 6 kg/cm ² ..	64
Gambar 4.17. Struktur mikro permukaan spesimen sebelum SMAT	65

Gambar 4.18. Struktur mikro hasil SMAT dengan diameter bola 3,18 mm	66
Gambar 4.19. Struktur mikro hasil SMAT dengan diameter bola 4,76 mm	66
Gambar 4.20. Struktur mikro hasil SMAT dengan diameter bola 6,35 mm	67
Gambar 4.21. Ilustrasi kekasaran plat sampel hasil <i>shot peening</i>	69
Gambar 4.22. Pengaruh penumbukan bola baja	70
Gambar 4.23. Grafik nilai kekasaran permukaan menggunakan <i>slag ball</i>	72
Gambar 4.24. Efek perlakuan <i>sandblasting</i> terhadap dimensi spesimen	76
Gambar 4.25. Efek perlakuan <i>grit blasting</i> terhadap kehilangan massa	77

DAFTAR TABEL

BAB II KAJIAN TEORI	6
Tabel 2.1. Komposisi kimia	18
Tabel 2.2. Teknik pengujian kekerasan	31
BAB III METODE PENELITIAN	37
Tabel 3.1. Kode inisial (penanda) plat sampel	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
Tabel 4.1. Nilai kekasaran rata-rata plat sampel SS-316L	68
Tabel 4.2. Nilai kekerasan rata-rata plat sampel SS-316L	73
Tabel 4.3. Nilai ketebalan rata-rata plat sampel SS-316L.....	75

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AISI	= <i>American Iron and Steel Institute</i>
Al ₂ O ₃	= Alumina
C	= <i>Carbon</i> (karbon)
CH ₃ OH	= <i>Methanol</i>
cm	= <i>centimeter</i>
Cr	= <i>Cromium</i> (krom)
Cu	= <i>Cuprum</i> (tembaga)
d ₁	= panjang diagonal 1 (μm)
d ₂	= panjang diagonal 2 (μm)
DCP	= <i>dynamic compression plate</i>
dkk	= dan kawan-kawan
dll	= dan lain-lain
etc.	= <i>et cetera</i>
FCC	= <i>face-centered cubic</i>
Fe	= <i>Ferrum</i> (besi)
HV	= <i>hardness of Vickers</i> (kgf/mm ²)
ISO	= <i>International Organization for Standardization</i>
kg	= <i>kilogram</i>
kPa	= <i>kilopascal</i>
LVM	= <i>low vacuum melting</i>
mm	= <i>milimeter</i>
Mn	= <i>Manganese</i>
mN	= <i>mili Newton</i>
Mo	= <i>Molybdenum</i>
Ni	= <i>Nickel</i> (nikel)
P	= <i>Phosporus</i>
P	= tekanan
P4	= tekanan 4 kg/cm ²
P5	= tekanan 5 kg/cm ²

P6	= tekanan 6 kg/cm ²
Pa	= <i>pascal</i>
Psi	= <i>pounds per square inch</i>
R _a	= nilai kekasaran rata-rata (μm)
R _{max}	= nilai kekasaran maksimum (μm)
R _n	= nilai kekasaran pada n (μm)
rpm	= rotasi per menit
R _z	= nilai kekasaran rata-rata dari puncak dan lembah tertinggi (μm)
S	= <i>Sulfur</i>
Si	= <i>Silicium</i>
SiO ₂	= Silica
SMAT	= <i>surface mechanical attrition treatment</i>
SPD	= <i>several plastic deformation</i>
SS-316L	= <i>stainless steel 316L</i>
Ti	= <i>titanium</i>
wt%	= presentase berat
%	= persen
μm	= mikrometer

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Desain mesin *shot peening*
- Lampiran 2. Desain *jig* dan *dies* penekuk plat
- Lampiran 3. Grafik hasil *bending* plat
- Lampiran 4. Proses *shot peening*
- Lampiran 5. Proses uji struktur mikro
- Lampiran 6. Proses uji kekasaran
- Lampiran 7. Proses uji kekerasan
- Lampiran 8. Proses pengukuran ketebalan
- Lampiran 9. Struktur mikro permukaan plat
- Lampiran 10. Data hasil uji kekasaran
- Lampiran 11. Data hasil uji kekerasan *Vickers*
- Lampiran 12. Data hasil uji ketebalan
- Lampiran 13. *Abstrack* yang lolos seleksi pada MRS-Japan
- Lampiran 14. *Abstrack* yang lolos seleksi pada ICMME
- Lampiran 15. Presentasi pada ICMME
- Lampiran 16. Sertifikat *International Conference*
- Lampiran 17. *Announcement MRS-Japan 2015*
- Lampiran 18. Biodata Penulis